

A UTILIZAÇÃO DE PRINCÍPIOS DA ENGENHARIA SIMULTÂNEA NO PROCESSO DE PROJETO DE PONTES E VIADUTOS

THE USE OF CONCURRENT ENGINEERING PRINCIPLES INT THE DESIGN PROCESS OF BRIDGES AND VIADUCTS

Paulo E. REZENDE

Engenheiro, Mestre em Engenharia de
Produção - prez@uai.com.br

Paulo R. P. ANDERY

Professor do Programa de Pós-Graduação
em Construção Civil da Universidade Federal
de Minas Gerais – paulo@demc.ufmg.br

RESUMO

O setor da construção apresenta um histórico de problemas relacionados à qualidade de seus produtos, serviços e processos. Vários estudos e iniciativas para a solução de tais problemas têm sido conduzidos por pesquisadores, profissionais e organizações do vasto campo de atuação abrangido por este setor.

Parte das soluções desses problemas aponta para a necessidade do aperfeiçoamento dos mecanismos de gestão do processo de projeto e a integração entre as atividades de projeto e execução. Nesse sentido, o presente artigo analisa o processo de projeto no subsetor de Obras de Arte Especiais (OAE), denominação utilizada para caracterizar tipos de construções como pontes e viadutos.

Nesse trabalho, o método de estudo de caso foi empregado para o acompanhamento do desenvolvimento do projeto de um viaduto de grande porte, no qual os conceitos da Engenharia Simultânea são avaliados como alternativa para a melhoria da qualidade do produto e de seu processo de execução

O estudo de caso demonstra que uma maior integração entre projeto e produção, com uma efetiva participação do construtor no processo de projeto, utilizando pressupostos da Engenharia Simultânea, permitiu a racionalização construtiva e a redução de custos da obra.

Palavras-chave: Processo de projeto, Engenharia Simultânea, setor da construção, Obras de Arte Especiais, integração projeto-produção.

ABSTRACT

The construction sector presents a historic of problems related to the quality of its products, services and processes. Many research works and initiatives focusing such problems have been conducted by researchers, professionals and organizations from the wide field covered by this sector.

Part of the solutions to these problems points out to the need of improvement in the management mechanisms of the design process and the integration between the design

and execution activities. In this context, the present paper analyses the design process of special art constructions", expression used to kinds of constructions such as bridges and viaducts.

The methodology of case study was used to attend of a large sized viaduct project development in which some basics of the Concurrent Engineering are evaluated in order to improve the quality of the product and the construction process.

The case study highlights that a best integration between design and production, with an effective participation of the contractor, using Concurrent Engineering concepts, has allowed the constructive rationalization and the decrease of the costs in the construction.

Key-Words: Design process, Concurrent Engineering, construction sector, special art constructions (bridges and viaducts), design-production integration.

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas produtivos, sujeitos aos efeitos da competitividade crescente, se vêem impelidos a ampliar suas metas, investir em qualidade e aumentar a produtividade. Este movimento pode ser sentido em escalas diferentes, dependendo de características específicas de cada setor, posição geográfica, fatores políticos e sociais.

O desenvolvimento tecnológico, à frente do fenômeno da globalização, permite maior fluxo de informação e acesso a um mercado livre de fronteiras, o que determina, de um lado, o esforço das organizações para conquistar maiores espaços e redução de custos; do outro, a formação de consumidores mais bem informados e exigentes.

Para o setor da construção, incluindo aqui o sub-setor denominado de “Obras de Arte Especiais”, como é o caso de pontes e viadutos, tais transformações representam uma tolerância cada vez menor com improvisações, desperdícios e baixa produtividade, fatores que resultaram na baixa qualidade associada a seus processos e produtos ao longo do tempo. A complexidade resultante de um extenso campo de atuação, da variabilidade das condições ambientais e da reunião de diversas áreas do conhecimento em um mesmo empreendimento, resulta em várias possibilidades para o surgimento de problemas cujas soluções são, em muitos casos, únicas.

O presente artigo busca apresentar uma possível resposta para tais exigências através de uma abordagem sistêmica sobre o processo de projeto no setor da construção, no qual se integram os agentes do projeto e da produção, contrapondo-se ao sistema tradicional que considera essas duas fases como pertencentes a etapas independentes.

A gestão do processo de desenvolvimento de produto destaca a evolução verificada ao se passar da abordagem do processo seqüencial para o processo integrado. Essa evolução aconteceu pelo aumento da complexidade, da pressão por menores prazos e custos, levando a alterações na estrutura organizacional das empresas, investimentos em tecnologia e integração em todos os níveis (ROZENFELD, et al., 2006). A migração do processo seqüencial para o processo

integrado e multidisciplinar é uma das premissas da Engenharia Simultânea (Concurrent Engineering), onde etapas do empreendimento são concebidas simultaneamente, ganhando-se em prazo, eliminando retrabalho e aumentando a qualidade do produto, além de estabelecer um canal de comunicação mais eficiente entre as partes envolvidas (CASAROTTO; FÁVERO; CASTRO, 1999).

O presente estudo limita-se ao setor de projetos de um segmento da indústria da construção identificado como Obras de Arte Especiais (OAE), o qual engloba obras de um complexo viário e que demandam técnicas especiais de projeto e construção tais como pontes, viadutos e túneis.

A expressão “obras de arte” tem origem nos primórdios da construção de estruturas para a transposição de obstáculos à continuidade de uma via. Naquela época, essas construções eram realizadas com base no empirismo e na intuição de seus idealizadores, o que as levava à condição de trabalhos de arte. Gradativamente, a partir do século XVIII, essa dimensão artística foi sendo substituída pelos métodos científicos de análise da engenharia moderna, permanecendo, no entanto, a utilização do termo antigo até os dias atuais, principalmente no meio profissional brasileiro. Há, ainda, uma subdivisão de nomenclatura em função das características dos projetos desse segmento. As obras cujos projetos podem ser facilmente padronizados tais como bueiros, descidas d’água, muretas, dentre outras, são chamadas “obras de arte correntes”. No segundo grupo estão as obras de pontes e viadutos que exigem projetos específicos para cada situação e, por esse motivo, recebem a denominação de “obras de arte especiais” (PFEIL, 1983).

Diversas pesquisas e publicações especializadas voltadas para a construção de edifícios no Brasil têm demonstrado esforços do setor em buscar soluções para problemas que envolvem projetos e sistemas construtivos. Tais esforços são aplicados em torno de melhoria da qualidade e valorização dos projetos, sistemas de racionalização na construção, coordenação de projetos e gestão interna das empresas. Não se verifica no setor de OAE o mesmo nível de mobilização nesse sentido, o que pode ser explicado parcialmente pela quase total paralisia dos investimentos em infraestrutura do início dos anos 1970 até os primeiros anos da década atual, e também por características próprias inerentes a cada segmento.

Além disso, existem distinções consideráveis entre os setores da construção de edifícios e da construção pesada, em particular, o de OAE. Em se tratando apenas da fase de desenvolvimento de projetos, uma das diferenças mais evidentes está na quantidade de especialidades envolvidas, bem maior na construção de edifícios. Por outro lado, projetos para OAE estão sujeitos a condições muito específicas, que exigem soluções únicas para cada caso, dificultando as possibilidades de padronização e racionalização nas obras.

Entretanto, a estratégia de pesquisa desse estudo pretende dar ênfase às questões comuns, partindo de abordagens genéricas a respeito das questões aplicáveis à gestão de projetos e ao macrossetor da construção para, posteriormente, serem analisadas as condições particulares do setor de OAE.

O estudo detalhado que serviu de base para esse artigo pode ser visto em Rezende (2008).

2. CONSIDERAÇÕES SOBRE O PROCESSO DE PROJETO

A estrutura básica que dá origem aos diversos modelos de processo de projeto é constituída por quatro estágios: concepção, desenvolvimento e detalhamento, avaliação e comunicação. Esses modelos procuram descrever ou, em alguns casos, prescrever a seqüência das atividades que ocorrem durante o processo projetual (CROSS, 1994). Apesar das etapas do processo projetual serem quase sempre representadas de forma seqüencial, há que se destacar que a prática demonstra a existência de interfaces entre elas e um ciclo de retorno constante para fases anteriores. Esta flexibilidade também é citada por Baxter (2001) quando este processo é visto como um funil de decisões hierarquizadas, partindo de um cenário marcado pelo alto risco e incerteza que se reduz gradativamente (FIGURA 1).

Em síntese, o processo de projeto se desenvolve de forma contínua e sucessiva rumo ao aprimoramento da solução sem que haja uma nítida fronteira entre estas fases, ocorrendo, inclusive, movimentos cíclicos e interfaces múltiplas entre elas (FABRÍCIO; MELHADO, 2006).

A atividade projetual, vista isoladamente, consiste em um processo cujo resultado deve ser um conjunto de informações suficientes para a realização da produção. Ou seja, o projeto deve compreender a definição das características do bem a ser

produzido e também os métodos envolvidos na transformação de insumos em produto final. É desde o início, portanto, que se estabelece uma importante relação a ser incluída no estudo do processo de projeto: a compatibilização entre as características do produto e o processo de produção.

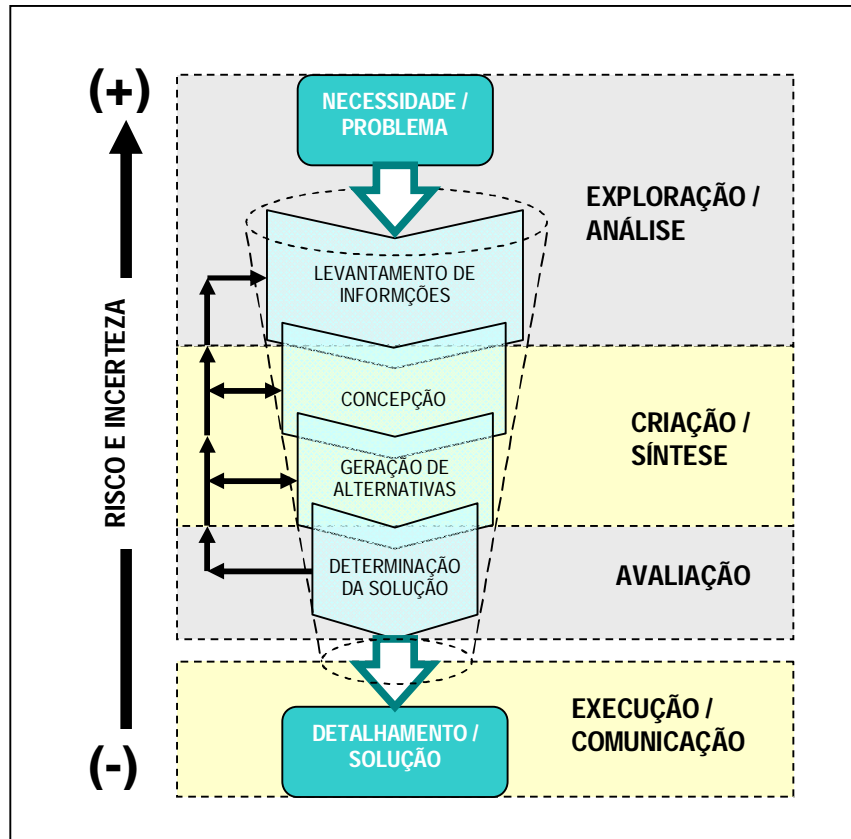


FIGURA 1 – Estrutura básica do processo de projeto
(Adaptado de CROSS, 1994; BAXTER, 2001)

Diante disso, pode-se intuir a importância do projeto que, no âmbito da construção, é assim definido por Melhado e Agopyan (1995): “atividade ou serviço integrante do processo de construção, responsável pelo desenvolvimento, organização, registro e transmissão das características físicas e tecnológicas especificadas para uma obra, a serem consideradas na fase de execução”.

A crescente complexidade dos ambientes econômico, tecnológico, social e de regulamentação tem intensificado o nível de exigências que direcionam o foco do processo de projetos para uma abordagem que prioriza o desenvolvimento integrado dos produtos (ROZENFELD, 2006). Esse enfoque apresenta-se de grande importância a partir da compreensão do papel do projeto na produção, no

que se refere à capacidade de antecipar com a maior exatidão possível, todos os eventos e aspectos inerentes à atividade produtiva.

Nessa direção, as estratégias competitivas para o ciclo produtivo (incluindo as etapas de projeto e produção) devem contemplar minimização de custos, redução de prazos, aumento da qualidade de produtos e processos e foco nos interesses dos clientes. Não por acaso, estes esforços são coincidentes com os objetivos da Engenharia Simultânea (Concurrent Engineering), uma abordagem sistêmica surgida como alternativa ao sistema produtivo seqüencial e em resposta à necessidade de se obter qualidade, flexibilidade e integração de atividades e sistemas (HARTLEY, 1998).

3. ENGENHARIA SIMULTÂNEA E O PROCESSO DE PROJETO

A especialização do trabalho e a criação de departamentos na estrutura administrativa das empresas, com base na teoria da Administração Científica de Taylor, deram origem a processos seqüenciais, verificando-se contribuições de cada área de competência sendo agregadas ao longo de um fluxo linear que, mesmo sendo aperfeiçoado pelos conceitos de racionalização, não permite uma visão holística do processo.

A separação entre atividades de projeto e execução, fruto dessa divisão de especialidades, produziu o conhecido modelo de engenharia “por cima do muro”, ou seja, depois de prontos, os projetos são entregues ao setor da produção, que deverá executá-los. Esse método contrasta fortemente com a idéia de inter-relacionamento das partes envolvidas em um empreendimento, fator necessário para se pensar a qualidade desde o começo do processo (concepção e desenvolvimento de projeto), um princípio fundamental da Engenharia Simultânea (HARTLEY, 1998).

Os elementos essenciais da Engenharia Simultânea podem ser identificados na indústria japonesa nas primeiras décadas que se seguiram ao fim da Segunda Guerra Mundial. No entanto, o conceito atual de Engenharia Simultânea se consolida apenas na segunda metade da década de 1980 (FABRÍCIO, 2002).

Precisamente, a Engenharia Simultânea teve suas origens no estudo realizado pelo DARPA¹, com início em 1982 e cujo resultado foi o trabalho publicado 1988 por Winner et al. Na definição desses autores, a Engenharia Simultânea é uma abordagem sistemática para o desenvolvimento integrado e paralelo do projeto de um produto e os processos relacionados, incluindo manufatura e suporte. Essa abordagem procura fazer com que as pessoas envolvidas no desenvolvimento considerem, desde o início, todos os elementos do ciclo de vida do produto, da concepção ao descarte, incluindo qualidade, custo, prazos e requisitos dos clientes (WINNER et al., 1988 apud KHALFAN; ANUMBA, 2000).

Para Hartley (1998), a Engenharia Simultânea pode, a princípio, ser aplicada com benefícios para qualquer tipo de processo produtivo, independente do porte da organização ou ramo de atividade. Essa flexibilidade permite, por outro lado, variações nas definições e abordagens da Engenharia Simultânea, que se adaptam conforme os objetivos, o ambiente produtivo e necessidades levantadas. Contudo, Fabrício (2002) faz uma apuração de elementos fundamentais freqüentemente identificados nos campos conceitual e prático, em torno desse paradigma:

Valorização do projeto na obtenção da qualidade do produto e eficiência do processo produtivo, antecipando soluções para eventuais problemas;

Planejamento das atividades de projeto, buscando o paralelismo das atividades, ressaltando as interfaces existentes e possibilitando redução de prazos;

Equipes multidisciplinares de projeto para uma maior integração entre as especialidades envolvidas e consideração do ciclo de vida do produto;

Estrutura organizacional adequada e interatividade nas equipes de projeto;

Tecnologia da informação como ferramenta para a eficiência do fluxo de informação;

Coordenação de projetos para promover a integração do processo projetual e mediar questões conflitantes;

Satisfação do cliente, orientando os processos para identificar e satisfazer as suas necessidades.

¹ DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) é uma agência do Departamento de Defesa dos Estados Unidos responsável pelo desenvolvimento de novas tecnologias para uso militar.

A implantação da Engenharia Simultânea pode não ser uma tarefa simples, já que deve alcançar a organização como um todo, exigindo também o rompimento de paradigmas relacionados à estrutura, cultura e gestão organizacional. Estudos citados por Del Rosário et al. (2004) identificam os fatores críticos para a implantação da Engenharia Simultânea: o forte comprometimento da gerência; a formação de equipes multidisciplinares; programa de treinamento intensivo; o emprego de recursos e ferramentas adequados; o envolvimento no processo, o quanto antes, de fornecedores e clientes.

No caso do setor da construção, a Engenharia Simultânea apresenta-se como instrumento de grande potencial para promover a melhoria de fatores críticos tais como a fragmentação do processo de projeto, a baixa qualidade verificada nos produtos e serviços, além de possibilitar a redução de prazos e custos dos empreendimentos. Para isso, contudo, é necessário que haja a correta adaptação dos modelos e ferramentas desenvolvidos em outros setores industriais, como o de manufatura e tecnologia da informação, para as necessidades da indústria da construção (KHALFAN; ANUMBA, 2000).

A prática de novos processos da indústria da construção baseados nos princípios da Engenharia Simultânea pode, efetivamente, significar também a superação de problemas como a dissipação das informações vitais para cada fase do ciclo de vida dos empreendimentos. O gerenciamento do fluxo de informação é, pois, fundamental, particularmente quando os empreendimentos de construção estão cada vez mais sofisticados, com as soluções técnicas e econômicas sendo buscadas e implementadas em escala global, demandando o uso de sistemas capazes de integrar o grande volume de dados gerados (BOUCHLAGHEM; KIMMANCE; ANUMBA, 2004).

Em suma, dentre os principais objetivos da Engenharia Simultânea estão: o encurtamento do ciclo de desenvolvimento de produto, diminuição de custos e aumento da qualidade, o que engloba o direcionamento do foco para as necessidades do cliente, além da consideração sistemática de todo o ciclo de vida do produto, passando pela concepção, produção, operação e descarte e/ou readaptação. Para alcançar estes objetivos, com frequência a Engenharia Simultânea se utiliza de métodos e ferramentas integrados, desenvolvidos com

propósitos específicos para diversas áreas da engenharia, mas que apresentam em comum a busca da melhoria da qualidade do produto e de processos. Podem ser citados, por exemplo, o QFD (Quality Function Deployment) (CHENG, 1995), o FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) (HELMAN; ANDERY, 1995) e o DSM (Design Structure Matrix ou Dependency Structure Matrix) (PERALTA; TUBINO, 2002) como ferramentas que vêm sendo empregadas em estudos ou aplicadas em diversos setores produtivos.

4. O CONTEXTO DOS PROJETOS NO SETOR DA CONSTRUÇÃO E UM SISTEMA DE REFERÊNCIA PARA O PROJETO DE OAE

Deficiências nos projetos podem ser apontadas como uma das principais fontes de problemas, especialmente no setor da construção (MELHADO; AGOPYAN, 1995; ANDERY; VANNI; BORGES, 2000; THOMAZ, 2001). Essas deficiências nos projetos se manifestam no produto final, como é o caso da baixa durabilidade, falhas estruturais e funcionais, ou no processo executivo quando emergem interferências físicas, incompatibilidade de processos e ausência de informações.

Kehl (2004) identifica algumas das deficiências normalmente encontradas em projetos de construção, que concorrem com outros fatores para a afirmação de uma reputação de ineficiência do ponto de vista da qualidade e produtividade:

O projeto apresenta “o que” construir, mas não define “como”, ficando esta parte a cargo dos executores que, não possuindo tempo, hábito ou capacidade para planejar a execução, têm na improvisação sua principal ferramenta;

O projeto não define tolerâncias e parâmetros de aceitação e qualidade, gerando retrabalho, desperdício e maior consumo de materiais;

O projeto não quantifica materiais e recursos necessários, dificultando o controle e levando à baixa produtividade;

Ausência de informações sobre tecnologias dos processos de construção e da logística que integra as diversas etapas construtivas.

Os fatores acima estão diretamente relacionados a pelo menos quatro funções a serem destacadas como pontos fundamentais no estudo de caso para a melhoria da qualidade do processo de projeto, com reflexos na construção. O conceito de

“projeto para produção” que raramente é contemplado no conjunto de projetos de um empreendimento da construção; o papel da “coordenação de projetos”, cujos objetivos são, dentre outros, o gerenciamento do fluxo de informações, a compatibilização dos interesses de todos os envolvidos; a visão de “construtibilidade”, responsável pela eliminação de incompatibilidades entre os diversos projetos e o processo de execução; e a questão do projeto sustentável com a aplicação dos conceitos de Lean Production direcionadas para a construção, ou “Construção Enxuta”, uma proposta que visa minimizar o impacto do setor no meio ambiente, além da racionalização da produção e aumento da produtividade.

4.1. INTEGRAÇÃO PROJETO-PRODUÇÃO: UMA PROPOSTA DE MELHORIA DA QUALIDADE

Analisando-se o contexto do setor da construção de OAE, a dinâmica na qual se desenvolve o processo de projetos bem como estudos realizados na área, podem ser estabelecidos dois pontos importantes. O primeiro está na constatação de que o processo de projeto constitui-se em uma fonte de problemas (e, conseqüentemente, como uma potencial oportunidade de melhoria) devido a práticas consolidadas, como falta de integração entre os requisitos de projeto e deste com a execução. O segundo está nas inúmeras alternativas que se apresentam como caminho para a qualidade, mas que nem sempre são viáveis por se fixarem apenas no plano teórico, distanciando-se de soluções que possam responder com a eficácia e rapidez exigidas.

Assim sendo, mostra-se adequado o estabelecimento de procedimentos essenciais que possam solucionar problemas bem conhecidos, mas que resistem ao longo do tempo. O passo em direção à melhoria da qualidade no processo de projetos de OAE pretendido com esse estudo baseia-se nesse pensamento, tendo como alvo principal promover a integração entre projeto e produção. Para isso, são eleitas algumas das dimensões da qualidade relevantes para o setor e utilizam-se métodos e ferramentas compatíveis com suas especificidades, tanto no plano operacional quanto gerencial.

4.2. SISTEMA DE REFERÊNCIA PARA O PROCESSO DE PROJETO DE OAE

Como alternativa ao sistema tradicional onde projeto e execução são vistos como processos independentes, pretende-se estabelecer procedimentos para a estruturação de um sistema de referência voltado ao processo de desenvolvimento de projetos no setor da construção de OAE, no qual seja valorizada a integração entre essas duas etapas. Tal sistema deve reunir as ferramentas consideradas compatíveis com os objetivos da qualidade, assim como as questões que interferem diretamente na interface projeto-produção no setor de OAE, conforme esquematizado na FIGURA 2.

Nesse diagrama são destacados em dois grupos, os elementos críticos que devem ser inseridos na proposta de processo integrado que, nesse caso, está restrito à fase de elaboração do projeto:

No primeiro grupo estão os métodos e ferramentas universais para gestão de produtos e projetos, englobados pela filosofia da Engenharia Simultânea. Enfatizam a importância da integração entre projeto e produção, da abordagem sistêmica, da racionalização dos recursos e da gestão da qualidade, dentre outros aspectos;

O segundo grupo reúne questões mais específicas ao contexto dos projetos para OAE, as quais interferem de maneira decisiva na dinâmica desse processo. Aborda, essencialmente, as características que dão contorno ao ambiente do processo de projeto de OAE e suas interfaces.

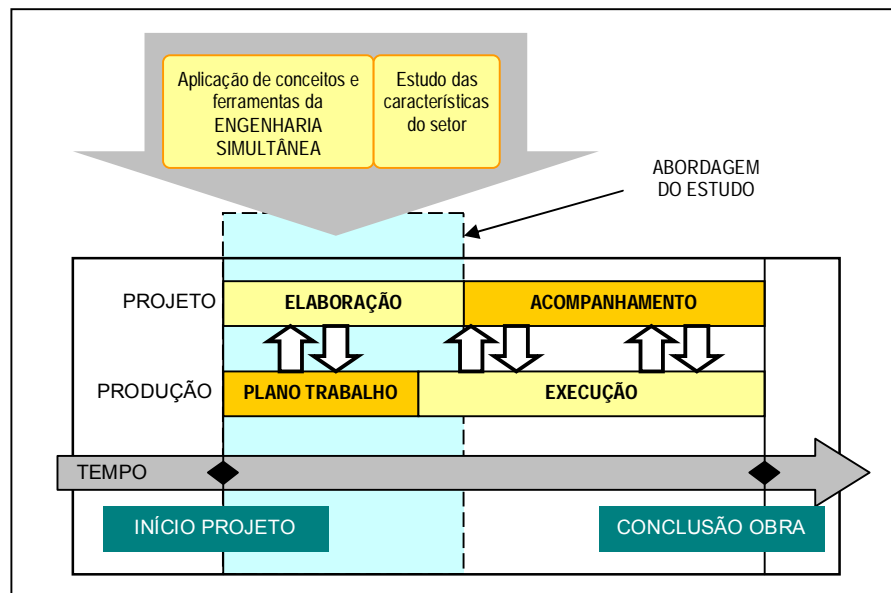


FIGURA 2 – Integração projeto-produção no setor de OAE

O estudo de caso a ser apresentado reúne os elementos desses dois grupos em um único conjunto de medidas para constituir-se em uma proposta alternativa para o processo de desenvolvimento de projeto no setor de OAE.

5. ESTUDO DE CASO: PROCESSO DE PROJETO INTEGRADO AO PROCESSO PRODUTIVO

O estudo realizado descreve o processo de projeto de um viaduto no qual o agente responsável pela sua execução tem papel destacado no seu desenvolvimento. São analisados os aspectos condicionantes do caso, os conceitos teóricos aplicados e as implicações tanto para o projeto em si, quanto para o processo de execução.

O estudo aborda o processo de desenvolvimento de projeto de OAE sob a influência de forças que nem sempre atuam na direção da melhoria da qualidade e enfatiza a interface entre projeto de produto e projeto de processo, representados na pesquisa atual, respectivamente, pela ação do projetista estrutural e do construtor.

Nesse sentido, uma peculiaridade dos projetos para OAE é que existem diversos fatores intervenientes que não só determinam algumas características do projeto, mas também alteram o contorno e a interpretação do conceito qualidade. Isso porque, embora prevaleça o custo, há situações em que outro fator como a

tecnologia, o método construtivo, o fator ambiental, o valor estético ou o prazo de execução, pode se sobrepor aos demais.

5.1. CONSIDERAÇÕES SOBRE O MÉTODO DE PESQUISA

A pesquisa foi realizada utilizando-se o método do estudo de caso. Como elemento essencial, definiu-se o problema em estudo: como melhorar a qualidade dos projetos no setor de construção de Obras de Arte Especiais. A resposta a essa questão começa com a proposição a ser eventualmente verificada durante o estudo de caso, tornando-se, portanto, objeto específico de observação: a participação efetiva dos agentes responsáveis pelo processo de projeto, particularmente o construtor, pode melhorar a qualidade do projeto, reduzindo falhas e problemas de incompatibilidade com o processo construtivo.

No trabalho, a unidade de pesquisa está focada no processo de desenvolvimento do projeto de um viaduto, com ênfase na análise de medidas tomadas para garantia da qualidade e construtibilidade.

O estudo de caso único, como ocorre aqui, justifica-se na medida em que este se apresenta como representativo para a questão em estudo, além de que a análise não está baseada em generalização estatística.

Nesse contexto, a coleta de dados da pesquisa pode ser subdividida em três frentes distintas, cada uma contribuindo com uma base de dados que se complementam no processo de investigação. Essas fontes de dados são identificadas como o acompanhamento das atividades que cercam a elaboração do projeto, a investigação junto aos profissionais de projetos de OAE, por meio de entrevistas semi estruturadas, e o acompanhamento das primeiras fases da execução.

O pesquisador teve acesso a todos os documentos relativos ao desenvolvimento do projeto, tanto no âmbito técnico como gerencial, e participou de todas as reuniões realizadas com os agentes envolvidos, fazendo anotações detalhadas sobre a forma de condução dos trabalhos e sobre as decisões tomadas.

Por outro lado, foram feitas visitas a obra, realizando-se o acompanhamento dos trabalhos e registro fotográfico das etapas iniciais da execução.

Outros detalhes da metodologia são apresentados em Rezende (2008).

5.2. CONSIDERAÇÕES SOBRE O DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Inicialmente, os estudos geométricos para a melhoria e segurança de um trecho de rodovia indicaram a necessidade de alteração de seu traçado para a eliminação de um longo trecho curvo em declive e com alta incidência de acidentes. O projeto preliminar estava fundamentado apenas no projeto geométrico de implantação, ponto de partida para a definição das dimensões básicas do viaduto a ser construído. O custo da construção do viaduto foi incorporado ao projeto da rodovia sem que houvesse um estudo detalhado, falta esta que determinaria a inviabilidade econômica mais adiante.

A solução encontrada para a realização do empreendimento foi o desenvolvimento de um novo projeto, através da contratação de uma empresa construtora especializada em OAE, associada a um projetista estrutural. Passou-se a ter uma situação privilegiada, na qual o construtor pôde gerenciar o processo de projeto, permitindo-lhe incorporar à atividade projetual elementos específicos relativos à construtibilidade do viaduto em questão.

A principal mudança proposta pelo projeto alternativo se concentrou na substituição da técnica construtiva de balanços sucessivos² com concretagem in loco pelo sistema de aduelas pré-fabricadas que permitiu adotar a “industrialização” de algumas etapas da construção. A FIGURA 3 ilustra os dois métodos construtivos e suas diferenças em termos de prazos normais de execução.

A simultaneidade das principais fases da obra observada no projeto alternativo é a chave para a redução do prazo de execução, resultando em menor custo total do empreendimento. No processo das aduelas pré-fabricadas, o tempo é otimizado quando a fabricação das peças é realizada concomitantemente com a execução dos pilares. Essa técnica, embora não seja nova, requer uma sintonia maior entre o projeto e o processo executivo, além do que, o conhecimento técnico deve ser complementado com conceitos de gestão de projetos, produção manufatureira e logística. Nesse estudo de caso, a convergência desses fatores ocorreu na fase de projeto pelas articulações entre o projetista, responsável pelo projeto do produto, e o construtor, responsável pelo projeto para a produção.

2

A técnica de construção de OAE em balanços sucessivos é explicada mais detalhadamente no trabalho de LEONHARDT (1979)

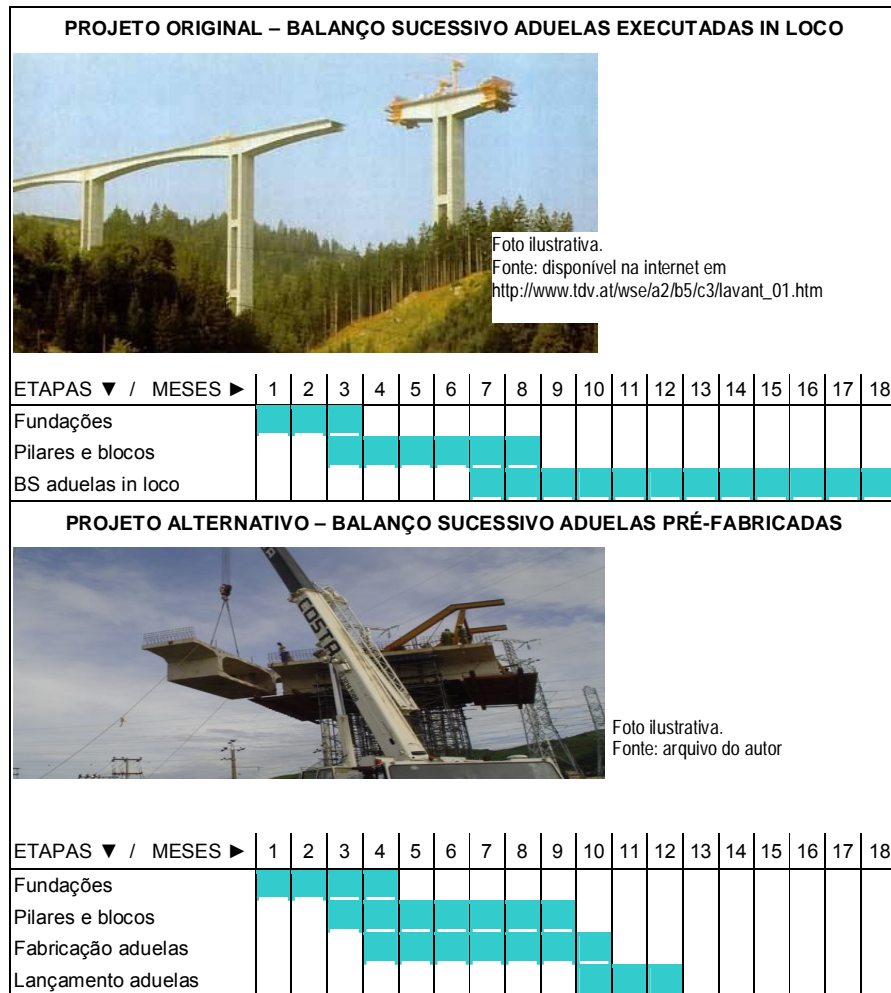


FIGURA 3 – Exemplos de execução de Balanços Sucessivos

No início do processo (FIGURA 4), foram feitos o pré-dimensionamento da estrutura para determinação das quantidades de material, as estimativas os prazos de execução e o custo e utilização e fabricação de equipamentos. Tudo foi condensado no planejamento sintético que determinou o orçamento do novo projeto.

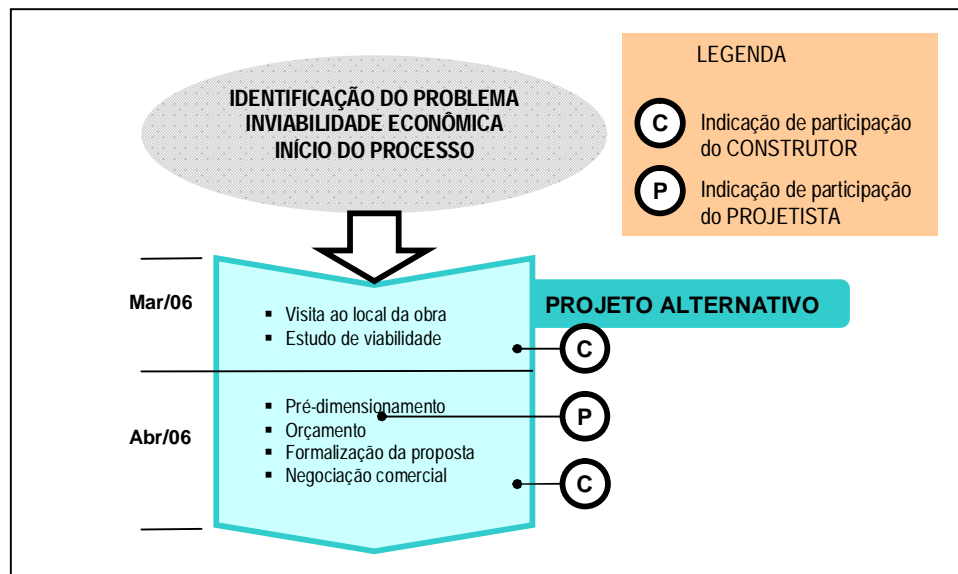


FIGURA 4 – Estudo de caso: primeiro estágio do processo de projeto

O processo construtivo foi ditado pelo construtor, que repassou as informações necessárias para garantir a compatibilização com o projeto final na medida em que o projetista realizava a análise estrutural e o detalhamento. Os principais marcos e eventos desde o início da elaboração do projeto são mostrados na FIGURA 5.

O desenvolvimento simultâneo do projeto com a execução, conforme mencionado acima, difere dos casos em que a ausência de informações de projeto compromete a qualidade, o que pôde ser evitado devido à intensa cooperação entre construtor e projetista e à determinação das prioridades do detalhamento em função do andamento inicial da obra.

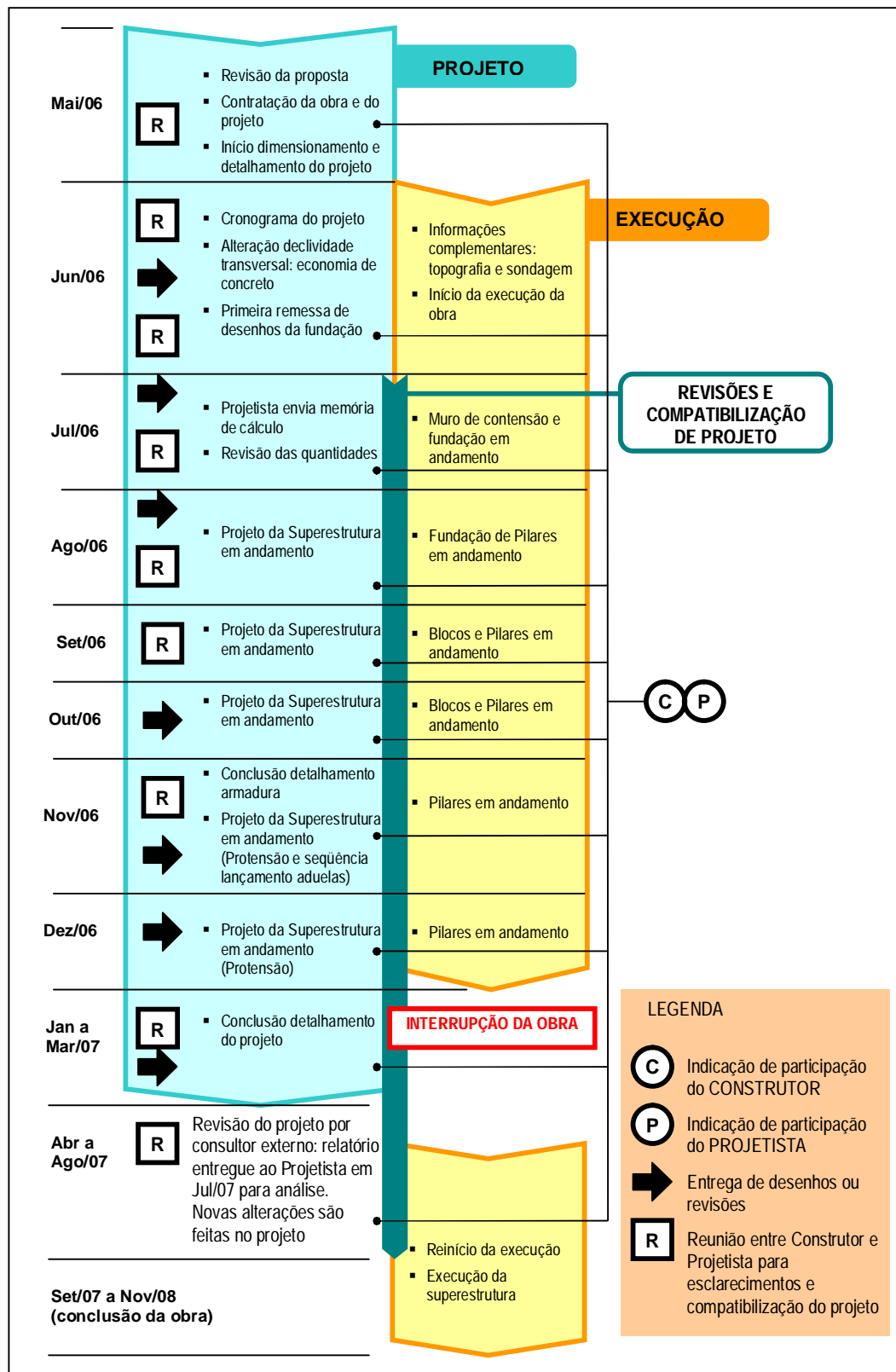


FIGURA 5 – Estudo de caso: segundo estágio do processo de projeto

5.3. CONSIDERAÇÕES SOBRE O ESTUDO DE CASO

Deve-se ressaltar que o presente estudo não representa uma aplicação de Engenharia Simultânea plena, já que grande número de seus preceitos teóricos não se aplica ao processo investigado. Observa-se também que a execução tem início antes da conclusão do projeto, sobreposição que se aproxima mais do conceito de Fast-track Construction que enfatiza a rapidez na execução do empreendimento pela execução de várias atividades em paralelo, sem o embasamento conceitual e metodológico da Engenharia Simultânea. Segundo Huovila, Koskela e Lautanala (1997), essa abordagem geralmente conduz ao aumento da incerteza, uma consequência totalmente oposta a um dos principais objetivos da Engenharia Simultânea (a redução dos níveis de incerteza) como forma de reduzir os custos totais e elevar o valor final do produto. Apesar dessa contradição, os autores reconhecem que métodos e técnicas originados na Engenharia Simultânea têm sido implementados em empreendimentos baseados em Fast-tracking, aproximando as duas abordagens.

Em casos de aplicação de Fast-track Construction, o problema a ser evitado é que o ganho de velocidade seja conseguido em detrimento da qualidade e da boa técnica, o que pode ser afastado no caso em estudo devido ao total domínio do construtor sobre o método executivo e sua coordenação do processo de projeto.

O objetivo declarado nesse caso é estabelecer a relação entre os conceitos teóricos e os resultados práticos obtidos através do estudo de caso, com ênfase na integração projeto-produção e orientados por princípios da Engenharia Simultânea aplicados ao processo de projeto. Nesse sentido, os principais tópicos do estudo de caso são discutidos a seguir.

Gerenciamento do projeto

A equipe formada para o desenvolvimento do projeto contou com os integrantes da parte do construtor e da parte do projetista conforme o esquema da FIGURA 6. A coordenação exercida pelo construtor estava inteiramente voltada para estabelecer uma ligação entre as necessidades do cliente (a viabilidade econômica do empreendimento) e a solução técnica que resultasse na melhoria da qualidade

do processo executivo. O fluxo de informações ocorre em forma de rede e é gerenciado pelo coordenador para garantir a integração do processo de desenvolvimento do projeto, mediar eventuais conflitos e manter a equipe em sintonia com as expectativas do cliente (FABRÍCIO, 2002).

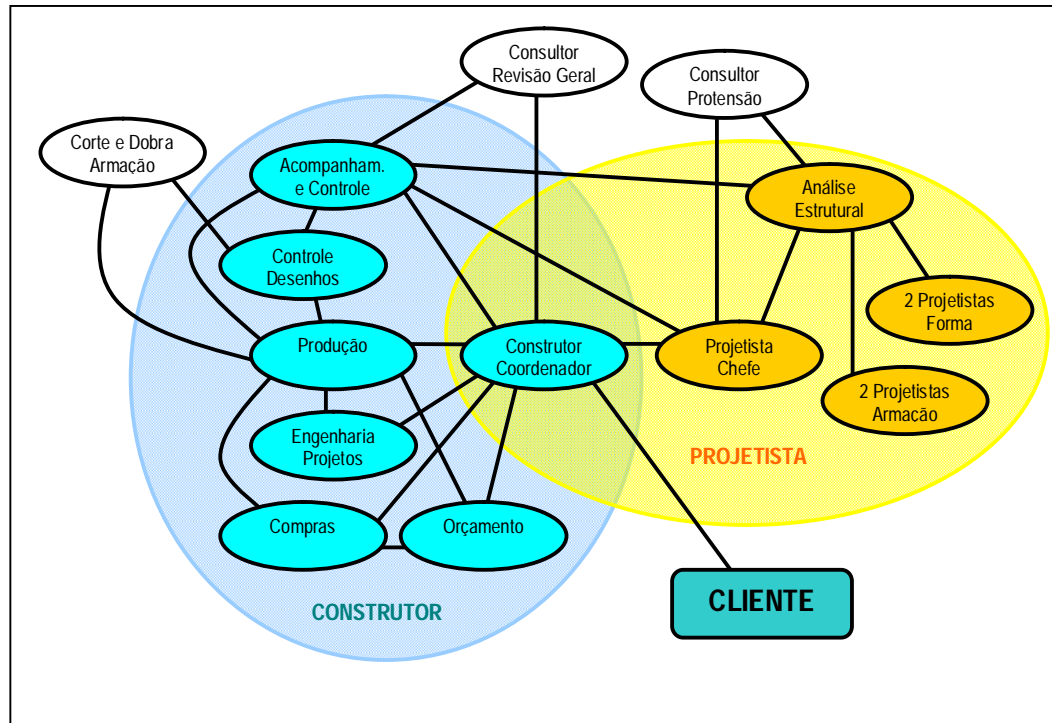


FIGURA 6 – Configuração da equipe de projeto

Nesse aspecto, Lindahl e Ryd (2007) destacam a necessidade de o projeto considerar as metas dos clientes em toda a sua dimensão, levando a uma abordagem integrada, onde são promovidos a inovação, o aumento das competências gerenciais e o incentivo a uma revisão do gerenciamento dos projetos de construção. Segundo os autores, os métodos que habilitam uma comunicação eficiente entre os clientes e os profissionais da construção devem fazer uma aproximação entre as expectativas dos clientes e o produto, utilizarem-se da figura de um facilitador para intermediar o diálogo entre as duas partes, e aproveitar as experiências do trabalho cooperativo para criar novos métodos para o gerenciamento dos processos.

Conforme visto ao se analisar as características dos projetos de OAE, não se verifica na equipe do projeto uma multiplicidade de disciplinas, a exemplo do que ocorre na construção de edifícios, mas existe a necessidade de que os canais de

comunicação sejam robustos e eficazes para que sejam minimizadas as possibilidades de decisões equivocadas. Tal cenário representa um grau de risco elevado em relação às decisões de projeto e, ao mesmo tempo, evidencia um componente facilitador para a coordenação do projeto e um incentivo para sua aplicação em projetos dessa natureza.

Portanto, o termo “coordenação”, nesse caso, deve ser compreendido com o sentido mais próximo ao seu significado genérico de organização e orientação do que aquele utilizado no setor da construção de edifícios para definir uma atividade específica com atribuições e responsabilidades bem definidas. No presente estudo, o coordenador é o elo de ligação entre as equipe de projeto e produção e destas com o cliente, atuando como facilitador do processo e gestor do fluxo de informação.

No contexto geral do processo de projeto em estudo, pode-se considerar a afirmação de Khalfan e Anumba (2000) como válida ao assegurar que, aspectos da Engenharia Simultânea adaptados adequadamente para a aplicação na construção, podem resultar em equipes de projeto menos fragmentadas, melhoria da qualidade do projeto, redução do tempo e do custo total do empreendimento.

A cooperação entre os agentes de projeto e produção, constituídos numa só equipe, mostrou-se uma condição essencial para a melhoria da qualidade do projeto e do desempenho geral do empreendimento de construção, em detrimento ao modelo tradicional de especialidades que se completam de maneira seqüencial e, não raramente, descoordenada (ALARCÓN; MARDORNES, 1998; FABRÍCIO; MELHADO, 2001; LANA; ANDERY, 2001).

O gerenciamento do projeto, em síntese, representa a oportunidade de se evitar as improvisações no processo construtivo, acarretado pela falta de controle e planejamento associado a um projeto deficiente, problema considerado crônico por Koskela, Ballard e Tanhuanpää (1997) no setor da construção, e que não pode ser negligenciado na busca por melhores índices de desempenho.

Construção Enxuta

Por extensão do conceito sistêmico e da integração projeto-produção, torna-se evidente que as decisões de projeto trazem impactos para tanto para o projeto em si, quanto para a fase de execução e para as características do produto final. Extrapolando um pouco o campo do processo de projeto para OAE, uma investida na técnica construtiva das aduelas pré-fabricadas, percebe-se uma grande afinidade com os princípios da Lean Construction definidos por Koskela (1992).

A redução do desperdício pode ser verificada em relação às atividades relacionadas à fabricação das aduelas. As fôrmas metálicas permitem a utilização em maior número de vezes em relação às fôrmas de madeira, além de serem mais eficientes na função de evitar o vazamento do concreto durante as concretagens. Verifica-se também a eliminação de atividades que não agregam valor, como por exemplo, o deslocamento de equipamentos e pessoal até as frentes de serviço. Elimina-se ainda a montagem do equipamento de escoramento para concretagem in loco, e o seu deslocamento a cada ciclo, uma atividade que sempre produz ociosidade de parte da equipe.

A pré-fabricação das aduelas permite o fluxo constante das atividades e o trabalho de suas respectivas equipes. O fluxo de materiais, assim como o regime de utilização dos equipamentos, também permitem o aumento da transparência e do controle do processo, o que pode ser considerado uma condição básica para a correção de erros e a implantação de melhorias.

Construtibilidade

Alguns dos benefícios apurados da integração projeto-produção no processo de projeto objeto desse estudo de caso apresentam uma maior visibilidade no que diz respeito às condições de construtibilidade.

Todas essas medidas discutidas a seguir, apresentam em comum a participação conjunta entre projetista e construtor, bem como a manutenção ou aumento das dimensões da qualidade em todos os níveis do empreendimento: gerencial, técnico e econômico. Além disso, foram decisões antecipadas para a fase de projeto, sem o que, conforme Wong et al. (2007), os esforços para implementação da

construtibilidade não produziram resultados efetivos, como tem sido comprovado em diversos estudos empíricos.

A concepção de um novo projeto foi a principal decisão tomada antecipadamente como forma de possibilitar a execução do viaduto, conseguindo uma expressiva redução do custo em relação ao projeto original. O pré-dimensionamento e os estudos sobre a nova proposta de projeto indicaram uma entre 30% e 35% sobre custo total do empreendimento. Esse passo fundamental, além de “inaugurar” a parceria entre construtor e projetista com o objetivo de se obter uma solução mais econômica com a manutenção das funcionalidades do projeto original, representou todo o direcionamento das decisões na continuidade do processo para compatibilização do projeto com um sistema construtivo mais ágil, fácil e seguro no que se refere à etapa de fabricação.

Após a aprovação do novo projeto junto ao contratante, foram discutidas entre o construtor e o projetista todas as principais etapas e particularidades do processo construtivo. Como extensão da solução proposta, esse procedimento apresenta impacto direto no custo do processo de projeto, uma vez que antecipa as decisões que devem ser consideradas para conciliar o detalhamento aos equipamentos e métodos de execução. Esse trabalho de integração foi responsável pela determinação da seqüência de fabricação e lançamento das aduelas que interferem na análise estrutural e na logística da construção. No cálculo estrutural, a seqüência de lançamento está relacionada ao dimensionamento dos cabos de protensão, no equilíbrio da estrutura na sua fase de descontinuidade, inclusive determinando a necessidade do uso de contrapeso e seu posicionamento. A logística da construção é afetada no dimensionamento dos berços de fabricação, praça de estocagem de aduelas e demais instalações do canteiro para montagem de equipamentos de transporte e central dosadora de concreto.

Além da concepção do projeto e as definições do processo construtivo, outra medida que evidenciou a compatibilização entre o projeto e o método executivo foi a determinação da forma geométrica do topo dos pilares (FIGURA 7). Esse detalhe, incorporado ao projeto, considerou a colocação de calços provisórios, o posicionamento definitivo dos aparelhos de apoio de neoprene fretado, bem como os espaços e alturas necessárias para a utilização de macacos hidráulicos. Além

disso, foram estabelecidos os modelos, dimensões e capacidade de carga dos macacos a serem utilizados na manobra que deve ser realizada para a retirada de calços provisórios e assentamento da estrutura sobre os apoios definitivos.



FIGURA 7 – Topo dos pilares projetados para o lançamento das aduelas
(Fonte: arquivo de um dos autores)

Outras ações que intervieram no projeto, que denotam melhoria em algum aspecto da construtibilidade, podem ser agrupadas de acordo com o seu benefício mais evidente. Assim sendo, por exemplo, podem ser citadas as medidas que proporcionaram (ou proporcionarão) redução de custo:

Estudo do traçado dos cabos para a padronização de sua posição nas testas das aduelas. Esta modificação implica em menos furações nas fôrmas metálicas e a utilização de um mesmo conjunto para todas as aduelas, bastando abrir ou tapar os orifícios de passagem dos cabos conforme a seção que esteja sendo fabricada;

Alteração da declividade transversal para drenagem da pista. Reduzindo a declividade da laje de concreto e transferindo uma parcela para o pavimento, foi possível manter o caimento previsto e economia de um volume de concreto estimado em 80 m³.

Algumas das intervenções cujo principal benefício foi a facilidade na execução:

Limitação do número de cordoalhas em cada cabo de protensão, considerando que o processo de pós-enfição é dificultado quando o espaço dentro da bainha é reduzido. Os cabos de protensão são constituídos de várias cordoalhas passadas por um tubo metálico (bainha) colocado junto com a armação, antes da concretagem;

Colocação de dispositivos metálicos nas paredes dos pilares para fixação da torre do elevador. Os pilares do viaduto são muito altos, superando 90 metros em um deles, o que requer um elevador durante a sua execução. Para facilitar a fixação do elevador e a segurança de sua operação, foram previstos inserts metálicos, caso contrário, teria sido necessário a colocação de chumbadores que demandariam furação do concreto, utilização de resinas especiais, hastes metálicas e muito mais horas trabalhadas;

O construtor propôs alterações nos diâmetros dos elementos de fundação (tubulões) em duas situações. Em uma delas foi reduzido o diâmetro dos tubulões de 120 para 100 centímetros, quando se constatou que o terreno era suficientemente estável para dispensar o revestimento com camisa de concreto. Na outra situação, ao contrário, a solução foi aumentar o diâmetro de 80 para 100 centímetros para aumentar a produtividade da escavação manual, permitindo mais espaço e maior segurança para o trabalhador. Em ambas as situações o objetivo foi facilitar a execução, com a solução partindo da frente de serviço e referendada pelo projetista que avaliou as modificações e revisou o projeto;

Aumento do espaço para a colocação dos macacos de protensão nas últimas aduelas. Os cabos de protensão são tensionados por pesados macacos cujo posicionamento requer esforço que será tanto maior se o espaço dedicado à operação for muito reduzido.

O QUADRO 1 apresenta uma síntese de algumas decisões implementadas na fase de projeto, seguidas de seus efeitos para a melhoria da construtibilidade, e que configuram, principalmente, uma perspectiva de projeto comprometida com o ciclo de vida do produto ao procurar antecipar suas etapas de execução, montagem e utilização.

QUADRO 1 – Relação de intervenções e melhoria da construtibilidade

ALTERAÇÕES NO PROJETO POR INTERVENÇÃO DO CONSTRUTOR		
Intervenção	Resultado conseguido / Finalidade	Impacto para a melhoria da construtibilidade

Alteração da concepção do projeto	Redução no custo total entre 30% e 35%	A / B / C / D / E / F
Determinação da geometria do topo dos pilares	Compatibilização com operação de macaqueamento	B / D / F
Estudo do traçado dos cabos de protensão	Padronização da forma metálica de aduelas	C / D / E / F
Alteração da declividade transversal	Economia no consumo de concreto da laje superior (aproximadamente 80 m ³)	D / E / F
Definição do processo executivo	Compatibilização do projeto lançamento das aduelas	A / B / D / E / F
Limitação do número de cordoalhas em cada cabo	Facilidade na execução (passagem das cordoalhas)	C / D / F
Previsão de "inserts" metálicos nos pilares	Fixação do elevador durante a execução do pilar	B / C / D / F
Diminuição do diâmetro de tubulões (D = 120 cm para D = 100 cm)	Aumento da velocidade de execução (dispensa de revestimento do furo) compensa aumento no consumo de material (núcleo cheio)	C / D / E / F
Aumento do diâmetro de tubulões (D = 80 cm para D = 100 cm)	Facilidade na execução e aumento da segurança durante a escavação (implica em aumento de custo)	C / D / F
Detectado interferência da fundação com muro no Encontro E1	Modificação do projeto para possibilitar a execução das fundações	A / D / F
Previsão de furos para fixação provisória da aduela de topo	Permitir a passagem dos cabos de protensão provisórios do Balanço Sucessivo na fase de lançamento das aduelas	A / B / C / D / F
Aumento dos nichos para macacos de protensão nas últimas aduelas	Modificação do projeto para possibilitar a execução da protensão na região dos Fechamentos centrais	B / C / D / F
A) Avaliação antecipada / auxílio na tomada de decisões B) Compatibilização projeto-execução C) Facilidade na execução		D) Integração entre projetista e construtor E) Redução de custo F) Aumento / manutenção da qualidade global

Providências simples como a colocação de furos para a passagem tirantes ou de cabos de protensão para içamento nas aduelas ou fixação provisória no topo dos pilares, poderiam se transformar em grandes problemas se não fossem previstas. No caso das aduelas de topo, é necessário que estas sejam ligadas aos pilares através de cabos de protensão provisórios enquanto a superestrutura estiver descontinuada, ou não haveria equilíbrio para o lançamento das aduelas.

É indiscutível que várias das situações descritas acima não seriam implementadas se o projeto não fosse elaborado em conformidade com o sistema executivo, o que provocaria custos adicionais devido ao retrabalho, consumo de materiais e aumento de prazo de execução.

Complementando as informações de projeto voltadas para a construtibilidade, foram desenvolvidos à parte, um conjunto de desenhos, croquis e cálculos que descrevem e detalham os métodos, seqüências das principais atividades e outras informações do processo executivo (MELHADO; FABRÍCIO, 1998).

Os autores afirmam que o “conceito de projeto para produção na construção tem origem em conceitos análogos desenvolvidos na indústria de transformação” que atualmente são abordados pelo Design for Manufacturing (DFM) para promover o desenvolvimento simultâneo de produtos e processos.

Os passos percorridos no desenvolvimento do projeto para o estudo de caso descrito tendo como base a metodologia DFM (ULRICH; EPPINGER, 2004) no setor da construção, consideradas suas peculiaridades, podem ser representados como na FIGURA 8. Todas as etapas estão contempladas sob a perspectiva sistêmica do empreendimento, levando em conta o ciclo de vida do projeto, os objetivos da produção e as expectativas do cliente.

Os aspectos analisados, considerados essenciais para a melhoria das condições de construtibilidade desse empreendimento, dependem de pelo menos duas funções essenciais que nem sempre estão presentes nos diversos cenários nos quais se desenvolvem os projetos para construção. A primeira a ser destacada é a função técnica, fundamental para a formulação de soluções alternativas viáveis, que no caso estudado envolveu os parâmetros de projeto em direção à compatibilização com o sistema construtivo. Em segundo lugar, está a função gerencial, responsável

por ações que visam romper com paradigmas e resistências encontradas tanto no subsetor de projetos quando no de execução, favorecendo a implantação de uma cultura para a melhoria da qualidade e representada aqui pelo emprego de métodos consagrados em outros setores industriais que priorizam intervenções nos momentos iniciais do processo de projeto.

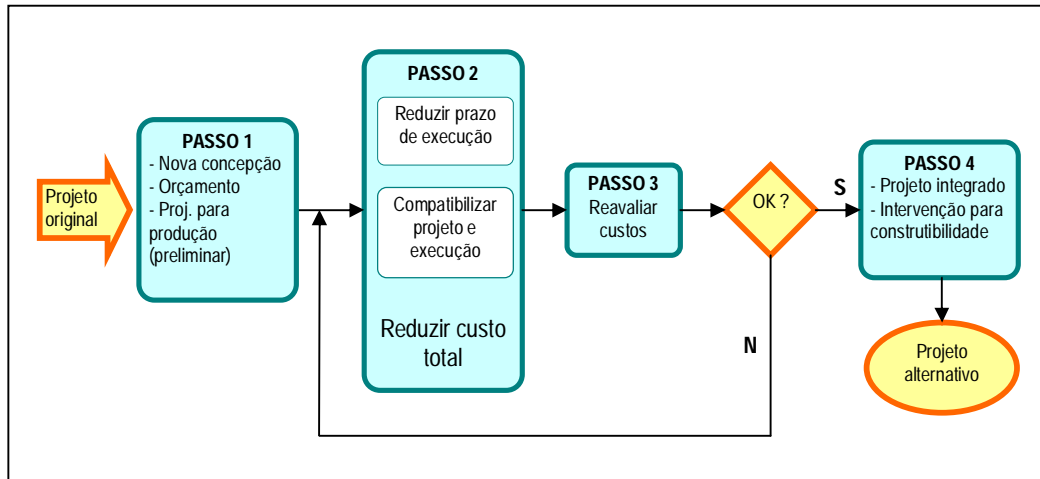


FIGURA 8 – Adaptação do método DFM ao processo de projeto de OAE
(Adaptado de ULRICH; EPPINGER, 2004)

O projeto para produção, no presente estudo caso, vem complementar o projeto do produto desenvolvido juntamente com o projetista estrutural, sem, no entanto, se integrar a ele. Isso porque o projeto para produção foi elaborado e mantido apenas ao nível do construtor.

Embora esse conjunto de informações complementares tenha sido gerado de forma aparentemente dispersa, verifica-se uma perfeita articulação entre as partes para o atendimento das necessidades do fluxo de produção da obra, aproveitando-se do completo domínio do construtor sobre o processo executivo. O projeto para produção não é divulgado pelo construtor, sendo que alguns detalhes recebem o status de confidencial, por serem considerados propriedade intelectual e parte do know how da empresa. Ainda assim pode-se relacionar alguns dos principais itens que compõem o projeto para produção e que estabelecem o vínculo definitivo entre o projeto do produto e o método executivo:

Memorial de cálculo e desenhos de adaptações do equipamento para o lançamento das aduelas, inclusive apoios provisórios e dispositivos de segurança;

Projeto do canteiro de fabricação de aduelas, contando com o arranjo geral, especificação dos equipamentos de transporte, dimensionamento da área de estocagem e detalhamento dos berços de concretagem;

Projeto de fabricação de fôrmas metálicas para aduelas. As fôrmas metálicas, apesar de apresentarem um custo muito superior às fôrmas convencionais de madeira e compensado, são indicadas para a pré-fabricação de aduelas por não permitirem variação nas dimensões das peças, possibilitarem aumento da produtividade, maior reaproveitamento e melhor acabamento da superfície do concreto;

Projeto de fabricação de pórtico de apoio e pórtico de movimentação das aduelas. Os pórticos são estruturas com capacidade de erguer e movimentar cargas deslocando-se sobre trilhos, comandados por dispositivos eletromecânicos;

Concepção e projeto de carro para transporte de aduelas desde a praça de estocagem até o “ponto de pega” para o lançamento;

Planejamento do sistema de concretagem, envolvendo a montagem da central dosadora de concreto, o transporte e o lançamento;

Memorial de cálculo e detalhamento de escoramento para execução dos trechos extremos. As extremidades dos viadutos são ligadas aos balanços sucessivos em aduelas pré-fabricadas através de trechos escorados que utilizam treliças apoiadas em pilares provisórios;

Detalhamento e fabricação de blocos metálicos especiais para cabos de protensão provisórios que fazem a ligação entre aduelas de topo e os pilares na fase de lançamento das aduelas pré-fabricadas.

Uma proposta de alteração quanto ao sistema de elaboração do projeto para produção descrito não parece factível para esse caso porque não encontraria respaldo do lado do projetista, nem tampouco do lado do construtor. Para o projetista se responsabilizar pelo projeto para produção haveria a necessidade de um envolvimento muito maior com o empreendimento, representando aumento de custo e a necessidade de domínio sobre áreas que vão além de suas atribuições normais. Pelo lado do construtor, não haveria interesse em assumir um custo

maior do projeto e menos ainda em compartilhar certos procedimentos do processo executivo, conforme já mencionado.

6. CONCLUSÕES

O foco do trabalho direcionou-se para o segmento de OAE, situado no importante setor da construção de infra-estrutura, que impacta fortemente na economia e nas questões sociais do país, mas que carece de estudos que levem em conta as suas características particulares, suas regulamentações e problemas específicos.

As modificações inseridas durante o processo de projeto de OAE representaram a antecipação de problemas que poderiam ser detectados apenas durante a execução, transformando-se em atrasos ou custos adicionais. Ademais, avalia-se que a correlação entre as ações implementadas durante o processo de projeto e seus resultados é mais facilmente identificada por estarem menos sujeitas a influências de fatores circunstanciais ou momentâneos que podem distorcer sua análise.

Ao analisar os resultados obtidos, confrontando os objetivos gerais da Engenharia Simultânea e considerando as limitações do estudo, pode-se propor como síntese para o desenvolvimento integrado do processo de projeto de OAE, o esquema representado na FIGURA 9, que aproveita a representação utilizada para o desenvolvimento do projeto.

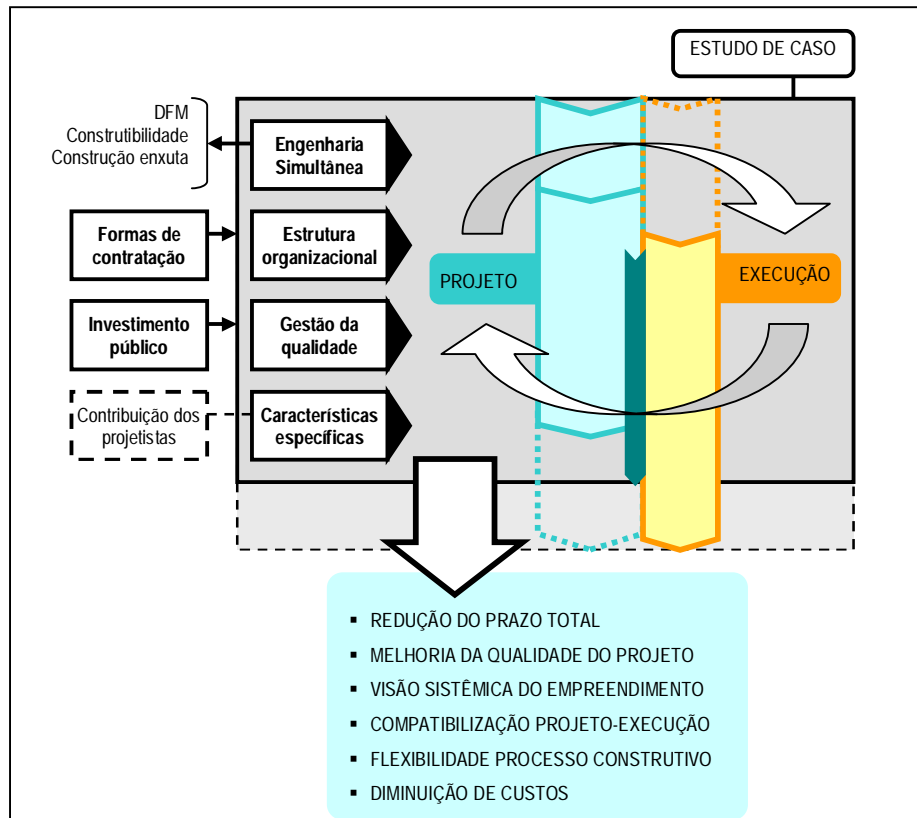


FIGURA 9 – Processo de projeto integrado para OAE: síntese do estudo de caso

Na base do estudo está o processo de desenvolvimento de projeto realizado de forma cooperativa e integrada pelos agentes do projeto e da execução. O desenvolvimento desse processo depende ainda de inúmeros outros fatores que influenciam na sua condução, moldam as interfaces e os relacionamentos entre os sub processos, as entidades e pessoas envolvidas.

Esse ambiente abordado no estudo de caso sofre intervenção externa das formas de contratação e da política de investimentos, no caso de projetos financiados pelo poder público, como acontece na maioria dos empreendimentos de OAE.

O conhecimento das características específicas do setor é fundamental para se determinar a origem dos problemas e conduzir soluções viáveis técnica e economicamente. A gestão da qualidade indica, independentemente do nível de formalização do sistema adotado, o quanto a organização está compromissada com os parâmetros da qualidade, já que na origem de todo esse esforço está a busca pela melhoria da qualidade no seu sentido mais abrangente.

A aplicação de conceitos da Engenharia Simultânea pode ser avaliada quanto à sua validade ao se verificar em qual escala seus objetivos são alcançados. Citando apenas aqueles objetivos primários da Engenharia Simultânea, tem-se o aumento da qualidade do produto, com foco no cliente; diminuição do ciclo de desenvolvimento; e diminuição de custos (ROZENFELD, 2006). Estes, comparados aos resultados considerados atingidos através do processo de desenvolvimento de projeto descrito para uma OAE, levam a concluir pela viabilidade do emprego da Engenharia Simultânea como referência para o desenvolvimento do processo projetual de OAE, ainda que de forma parcial.

Por fim, são listadas as principais lições sobre o estudo de caso que podem servir de parâmetro para um modelo alternativo de processo de desenvolvimento de projeto, levando-se em conta a realidade do setor da construção de Obras de Arte Especiais e as reconhecidas limitações da pesquisa:

As ações de mudança devem ocorrer em vários níveis: jurisprudência, político e organizacional;

Os empreendimentos de OAE devem ser tratados como uma categoria distinta, separada das obras de terraplenagem e pavimentação;

Os serviços de engenharia (projeto e execução) devem ser contratados através de critérios objetivos e de relevância para cada empreendimento, e não apenas pelo menor preço;

A valorização dos projetos é condição indispensável para a melhoria da qualidade de processos e produtos no setor da construção;

Projetistas e construtores devem participar ativamente da fase de desenvolvimento do projeto para que o processo executivo seja contemplado no projeto de forma adequada;

O acompanhamento da execução das obras pelos projetistas é importante para a criação da alça de retroalimentação capaz de levar soluções de ordem prática para projetos futuros;

A redução de custos deve ser perseguida a partir de uma visão holística do empreendimento, compreendendo todo o seu ciclo de vida, mantendo-se ou aprimorando a qualidade dos processos;

As organizações devem investir em tecnologia e em formação profissional para acompanhar o desenvolvimento tecnológico, buscar a competitividade pela inovação e incorporação de competências básicas com foco nas necessidades dos clientes.

Observando-se as características e o contexto do setor da construção, pode-se admitir que uma parte importante da busca pela melhoria da qualidade de seus produtos e processos está intrinsecamente associada à capacidade de se antecipar para a fase de projeto as expectativas dos clientes e os possíveis cenários nos quais estes se desenvolvem (planejamento). Esse é um aspecto que se torna essencial na medida em que a opção pela verificação da conformidade do produto somente ao final do processo de construção significa elevação de custos com retrabalho e desperdício. Além disso, a garantia da qualidade feita durante o processo é pouco eficaz pela dificuldade de se definir parâmetros em um ambiente onde prevalece a variabilidade e imprevisibilidade.

O projeto visto como parte integrante do plano formalizado para a execução de uma construção, não deve ser considerado completo e definitivo diante das inúmeras variáveis inerentes ao processo. Isso faz com que as soluções de projeto sejam permeadas por considerações e previsões que são, em muitos casos, incompatíveis com a realidade e a linearidade do planejamento. As discontinuidades verificadas no caso de construções de Obras de Arte Especiais ampliam ainda mais essas diferenças pela dificuldade de padronização, dependência do fluxo de recursos financeiros, fatores naturais, inconsistência do projeto em relação ao método construtivo.

Ao verificar-se o desenvolvimento do processo de projeto desse estudo de caso, é possível estabelecer um relacionamento definitivo com os objetivos da Engenharia Simultânea. Assim, mantendo-se no que dita essa filosofia, observa-se que a melhoria da qualidade do produto e dos processos envolvidos na produção pode ser alcançada com as ações implementadas nas fases iniciais de desenvolvimento

do projeto para OAE, resultando em redução de custos e prazos, conforme os anseios do cliente.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALARCÓN, Luis F. e MARDONES, Daniel A. **Improving the Design-Construction Interface**. In: 6th ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION. **Proceedings...** Guarujá, Brasil: IGLC, 1998.

ANDERY, Paulo R. P.; VANNI, Cláudia M. K.; BORGES, Gisele. **Failure analysis applied to design optimisation**. In: 8th ANNUAL CONFERENCE OF INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION. **Proceedings...** Brighton: IGLC, 2000.

BAXTER, Mike. **Projeto de produto: guia prático para design de novos produtos**. Trad. Itiro Iida. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2001.

BOUCHLAGHEM, D.; KIMMANCE, A. G.; ANUMBA, C. F. Integration product and process information in the construction sector. **Industrial Management & Data systems**, v. 104, n. 3, 2004. p. 218-233. [doi:10.1108/02635570410525771](https://doi.org/10.1108/02635570410525771)

CASAROTTO Filho, Nelson; FÁVERO, José S.; CASTRO, João E. E. **Gerência de projetos / Engenharia simultânea**. São Paulo: Atlas, 1999.

CHENG, Lin Chih *et al.* **QFD: planejamento da qualidade**. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1995.

CROSS, Nigel. **Engineering design methods: strategies for product design**. 2 ed. Chichester: John Wiley & Sons, 1994.

DEL ROSARIO, Rubén *et al.* Concurrent Engineering for the management of research and development. In: 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON MANAGEMENT OF TECHNOLOGY. **Proceedings...** Whashington, DC: IAMOT, 2004

FABRÍCIO, Márcio M. **O projeto simultâneo na construção de edifícios**. Tese (Doutorado em Engenharia). Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

FABRÍCIO, Márcio M.; MELHADO, Sílvia B. **Desafios para integração do processo de projeto na construção de edifícios**. In: I WORKSHOP NACIONAL DA GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS. **Anais....** São Carlos: EESC/USP, 2001.

_____. Qualidade no processo de projeto. In: OLIVEIRA, Otávio J. (Org.) **Gestão da qualidade: tópicos avançados**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2006. p. 107-122.

HARTLEY, John R. **Engenharia simultânea: um método para reduzir prazos, melhorar a qualidade e reduzir custos**. Trad. Francisco José Soares Horbe. Porto Alegre: Bookman, 1998.

HELMAN, Horacio; ANDERY, Paulo R. P. **Análise de falhas: aplicação dos métodos de FMEA e FTA**. Belo Horizonte: FCO, Escola de Engenharia da UFMG, 1995.

HUOVILA, Pekka; KOSKELA, Lauri; LAUTANALA, Mika. Fast or concurrent: the art of getting construction improved. In: ALARCÓN, Luis F. (Ed.). **Lean Construction**. Rotterdam: A. A. Balkema, 1997. p.143-159.

KEHL, Sérgio P. Produtividade na construção civil. In: CONTADOR, José C. (Org.). **Gestão de operações: a engenharia de produção a serviço da modernização da empresa**. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2004. p. 469-485.

- KHALFAN, Malik M. A.; ANUMBA, Chimay J. **Implementation of Concurrent Engineering in construction: readiness assessment**. In: CONSTRUCTION INFORMATION TECHNOLOGY 2000 CONFERENCE. **Proceedings...** Reykjavik, Iceland, 28-30 jun. 2000, v.1, p. 544-555.
- KOSKELA, Lauri. **Application of the New Production Philosophy to Construction**. Technical Report n.72. Center for Integrated Facility Engineering. Department of Civil Engineering. Stanford University, 75 p., 1992.
- KOSKELA, Lauri; BALLARD, Glenn; TANHUANPÄÄ, Veli-Pekka. Towards Lean Design Management. In: 5th CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION. **Proceedings...** IGLC: Gold Coast, 1997.
- LANA, Maria da Penha C. V.; ANDERY, Paulo R. P. **Integração projeto-produção: um novo paradigma cultural**. In: I WORKSHOP NACIONAL DE GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS. **Anais...** São Carlos: EESC/USP, 2001.
- LEONHARDT, Fritz. **Construções de concreto: princípios básicos da construção de pontes de concreto**, v. 6. Rio de Janeiro, Interciência, 1979.
- LINDAHL, Goran; RYD, Nina. Client's goals and the construction project mangement process. **Construction Project Management**, v. 25, n. 3/4, 2007. p. 147-156.
- MELHADO, Sílvio B.; AGOPYAN, Vahan. **O conceito de projeto na construção de edifícios: diretrizes para sua elaboração e controle**. (Boletim Técnico BT/PCC/139). São Paulo: Escola Politécnica USP, 1995.
- MELHADO, Sílvio B.; FABRÍCIO, Márcio M. **Projetos da produção e projetos para produção na construção de edifícios: discussão e síntese de conceitos**. In: VII ENCONTRO NACIONAL DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 1998.
- PERALTA, Antônio C.; TUBINO, Dálvio F. **O uso da DSM no processo de projetos de edificações**. In: XXII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. **Anais...** Curitiba: PUC-PR, 2002.
- PFEIL, Walter. **Pontes: curso básico: projeto, construção e manutenção**. Rio de Janeiro: Campus, 1983.
- REZENDE, P. E. **Integração projeto-produção no processo de desenvolvimento de projeto: uma alternativa para melhoria da qualidade no setor da construção de OAE**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 2008.
- ROZENFELD, Henrique. *et al.* **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo: Saraiva, 2006.
- THOMAZ, Ercio. **Tecnologia, gerenciamento e qualidade na construção**. São Paulo: Pini, 2001.
- ULRICH, Karl T.; EPPINGER, Steven D. **Product design and development**. 3 ed. New York: McGraw-Hill, 2004.
- WINNER R. I. *et al.* **The Role of Concurrent Engineering in Weapon Systems Acquisition**. Institute for Defense Analysis, IDA Report R-338, Alexandria, 1988.
- WONG, Franky W. H. *et al.* A study of measures to improve constructability. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 24, n. 6, 2007. p. 586-601. doi:10.1108/02656710710757781